

# 交流演示実験装置の開発

出口 考彦

(物理学研究室)

稲田 直行

(松山市勝山中学校)

(平成元年10月11日受理)

中学校理科および高等学校物理で交流を直接的に説明できる実験装置を開発した。この装置は低周波発振器とその電流波形をA-D変換し、記録、表示するA-D変換器とマイクロコンピュータ、電流の向きを示す発光ダイオードの演示板よりなる。この装置により1kHz以下の交流電流の波形を記録することができた。直流から20Hzまでの範囲で、電流の流れる向きを発光ダイオードで見ることができた。

愛媛大学教育学部の学生を対象として、この装置とこれまで利用されてきた交流説明用の装置とを用いて講義実験を行い、アンケート調査を行った。その結果、本研究で開発した実験装置による説明が、他の実験装置による説明よりも理解しやすいとする回答が全回答の67%であった。本装置は操作も簡単で、約5分間で実験できるので、中学校、高等学校の授業時間内で十分交流の説明と実験ができるものであった。

## 1 はじめに

交流の教材は中学校では理科第1分野の電流の単元で取り扱われ、直流と交流との比較、交流電流の性質の説明などによって教えられている<sup>1,2)</sup>。一方、高等学校では電磁誘導と交流の単元で取り扱われ、交流の発生を中心として、交流の基本的性質の説明がなされている<sup>3,4)</sup>。教材では電灯用の50Hz又は60Hzの交流を利用するので、電流の変化が速く、生徒が交流の性質を理解しにくい。特に、中学校では生徒にとって難解な教材の1つになっており、交流の性質を生徒によく理解させるにはいろいろの工夫が必要である。

これまでに直流電流と交流電流の性質を説明するために、いろいろな教材、教具が開発されている。磁界の中の電流が力を受ける現象を利用した電気ブランコの実験<sup>5)</sup>、食塩水を電気分解し、そのときの化学変化で指示薬の色が変わることを利用して交流を知る実験<sup>6)</sup>、ネオン管は負極だけが光ることを利用したネオン管の実験<sup>7)</sup>、シンクロスコープを用いて、直流と交流の波形を比較して交流を知る実験<sup>8)</sup>、電流を流した弦を磁界中に入れ、弦に定常波を作って交流を知る実験<sup>9)</sup>、電磁石を利用した実験<sup>10)</sup>などがこれまでに開発され、報告されている。

ところがこれまでの実験教材では、電流の向きの変化を知るには実験が間接的で、さらに電磁気学、波動学、化学などいろいろな知識が必要であり、それだけ交流の理解が生徒にとってむづかしい。また電気ブランコなどの実験では実際の変化が速すぎて見えにくい。ネオン管の実験では直流100Vを暗室において使用しなければならないので危険である。

本研究の目的は交流の電流変化を直接的、視覚的に示して交流電流を説明する実験装置を開発することである。

## II 実験方法

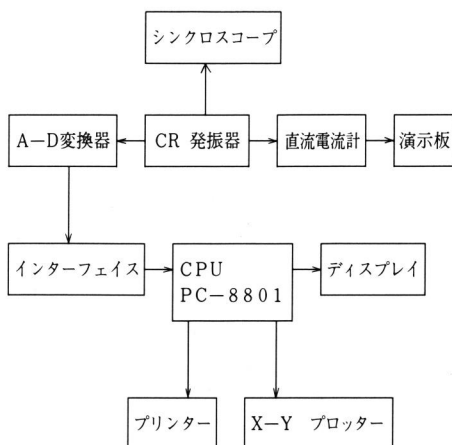


図1 開発した装置のブロック図

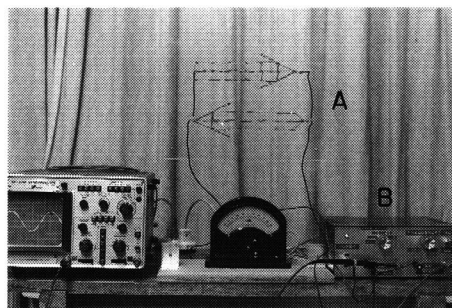


図2 交流説明実験装置

開発した装置は図1に示すように、低周波発振器、電流の向きを示すための発光ダイオードを利用した演示板、中央に0点があり、電流の向きにより左または右に指針が振れる直流電流計、電流の波形を表示・記録するためのシンクロスコープ、マイクロコンピュータシステムなどで構成した。図2のAに発光ダイオードを利用した演示板を示す。発光ダイオードの規格は、正方向に用いた緑色のものが順電圧1.8V、順電流20mAで点燈するもので、負方向に用いた赤色のものが順電圧1.5V、順電流20mAで点燈するものであった。このため、低周波発振器の出力電力を考慮して正方向の緑色の発光ダイオードは4個ずつの5並列回路、負方向の赤色の発光ダイオードは5個ずつの4並列回路にした。配線が生徒によく見えるように、これらの発光ダイオードは透明アクリル板にとり付けて用いた。図3に示すように、発振器はCR型のもので、1 Hz 以下から約15 kHz までの交流を発振できるように設計した。さらに、演示板の発光ダイオードを点灯できるように、発振器の内部に電力増幅回路を含ませた。図2のBに低周波発振器を示す。

交流の波形を表示・記録するために、マイクロコンピュータシステムを利用した。アナログ波形をデジタル化するためのA-D変換器には逐次比較型のローム社製集積回路BA9101を用いた。この集積回路は8ビットで分解能は $2^8$ 、したがって感度は0.02Vであった。変換の速度は $25\mu\text{s}$ であった。製作したA-D変換器を図4に、その回路を図5に示す。A-D変換可能な最大入力周波数を10kHz

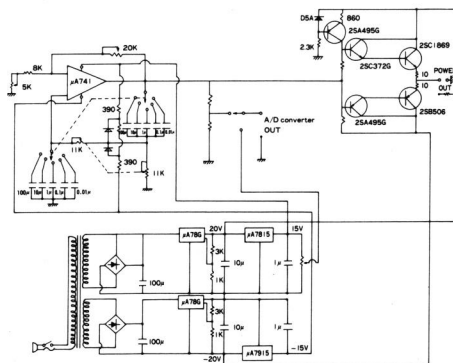


図3 低周波発振器の回路

以上にするため、集積回路 LF398 を用いてサンプルホールド回路を作り、これを図 5 に示すよう

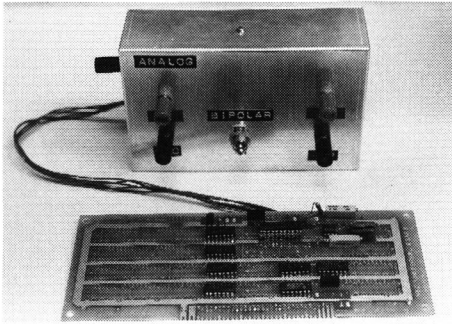


図 4 A-D変換器

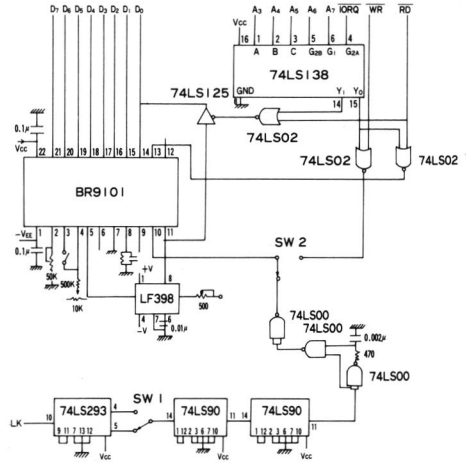


図 5 A-D変換器の回路

に変換器の中に入れた。マイクロコンピュータ PC-8801 の CPU に使われている 4MHz のクロックパルスを 74LS293 と 74LS90 で分周し、それをスタートパルスとして A-D 変換器に加えた。スタートパルスの周期は 0.1ms と 0.2ms で、サンプリングタイムは 0.1ms と 0.2ms であった。CPU と A-D 変換器とのインターフェイスを 74LS138 で作りこの回路も A-D 変換器の中に組み込んだ。交流の波形データは PC-8801 のメモリーに一時記憶させ、これをディスプレイ、プリンター、XY プロッターなどで表示させた。

### III 実験結果と考察

製作した低周波発振器の出力電圧を図 6 に示す。0.13Hz から 10kHz まで一様な出力を得ることができた。直流電圧と直流電力は  $\mu$ A78G で安定化した定電圧電源から直接得た。したがって、直流から 10kHz の交流まで連続して、発光ダイオード点灯用の電力およびシンクロスコープとマイクロコンピュータシステムの入力電圧を得ることができた。

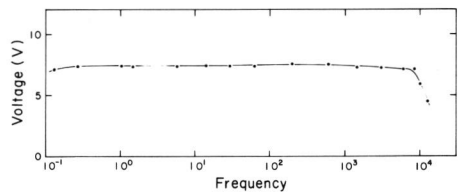


図 6 低周波発振器の出力電圧の周波数特性

直流電流計によって、直流から 3 Hz の交流まで電流の大きさと向きの変化が観察できた。発光ダイオードの点滅によって直流から 20Hz まで、電流の向きとその変化が観察できた。周波数が 20 Hz 以上になると発光ダイオードの点滅は識別できなかつた。20Hz 以上の周波数領域では、観察にシンクロスコープが利用できた。20Hz 以下ではシンクロスコープによる電流波形は見にくく、授業では利用しにくい。しかしながら 10Hz から 20Hz の範囲で、発光ダイオードによる観察と併用することにより、直流から 20Hz 以上の周波数領域まで連続して電流の向きと大きさの変化を観察し説明することが可能であった。

図 7 に製作した A-D 変換器のアナログ入力電圧とデジタル出力電圧との関係を示す。交流電流の演示実験用として、この A-D 変換器は十分な入出力直線性と精度を示した。交流の入力電

圧をA-D変換し、マイクロコンピュータのメモリーに記憶させた後、X-Yプロットで記録した結果を図8と図9に示す。図8と図9はそれぞれサンプリングタイム0.2msで入力した周波数100Hzと1000Hzの交流電圧波形である。この研究で製作したマイクロコンピュータシステムでは、実用上、直流から1000Hzまでの交流電圧電流波形が記録でき、それをディスプレイ、プリンター、X-Yプロッターで観察することができた。

製作した交流説明の実験教具を用いて、交流の説明を次のような手順で行う。まず、乾電池7個を直

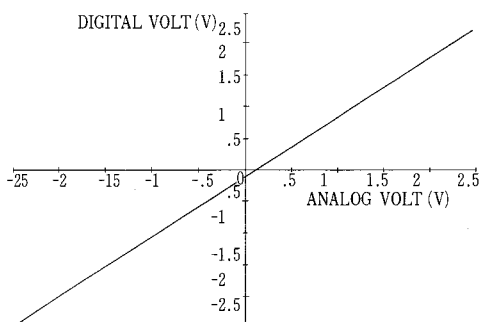


図7 A-D変換器のアナログ入力電圧とデジタル出力電圧の関係

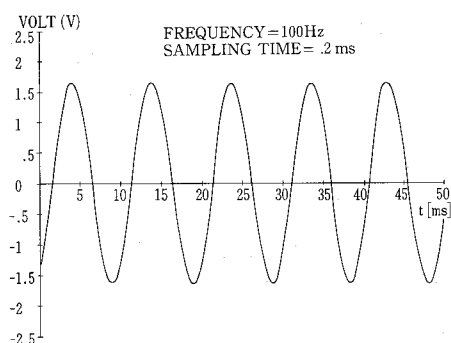


図8 サンプリングタイム0.2msの100Hzの交流電圧波形

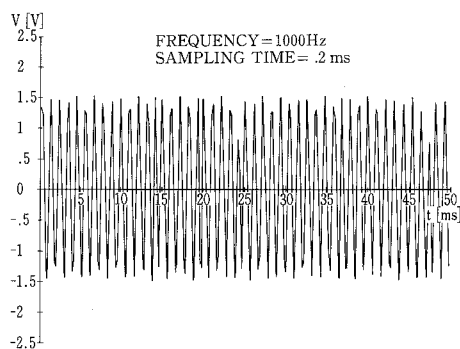


図9 サンプリングタイム0.2msの1000Hzの交流電圧波形

列接続して得た直流によって、発光ダイオードには一方向の電流しか流れないこと、電流を流すと発光ダイオードが点灯することを演示ボードで説明する。このとき、プラスとマイナスの向きを明示した上で、電流の流れる向きを確認させ、その向きにしたがって、左方向、右方向のどちらの向きの発光ダイオードが点灯するかを認識させる。電流の向きは電流計の指針の振れる向きによっても確認する。

低周波発振器の出力を直流にして、電流の流れる方向と発光ダイオードの点灯の仕方および電流の方向と電流計の指針の振れる方向などの関係を乾電池の場合と比較しながら生徒に確認させる。

次に、低周波発振器の出力を交流にして、1 Hz以下の低周波電力を出力させる。電流計の指針の振れの大きさの変化とその向きの変化により、交流の場合、電流の大きさと流れる向きが周期的に変化していることを生徒に説明し、認識させる。同時に、電流が発光ダイオードの点灯で示す矢印の方向に流れていることを説明し、発光ダイオードの点灯によっても電流の向きの変化がわかることを示す。

3Hzまでは直流電流計と発光ダイオードの演示板により、1 Hz以下の場合と同じようにして説明する。3 Hzから20Hzの範囲では演示板を利用して、電流の向きの変化を示す。15Hz程度からシンクロスコープによる観察も併用し、20Hz以上ではシンクロスコープの示す交流波形によって観察、説明を行う。この一連の観察によって、直流から50Hzまたは60Hzまで、生徒は連

続して電流の流れについて学習することができる。50Hz または60Hz の交流は我々が日常、電燈線で使用している交流であることを認識させる。

マイクロコンピューターシステム、演示板、直流電流計によって、直流から電燈線用交流まで完全に連続して電流の大きさと向きの変化を説明することができる。説明は上に述べたような方法で行う。ディスプレイ、プリンター、X-Yプロッターにより、周波数のいかにかわらず、常に静止した交流波形を示すことができるので、生徒にとって理解しやすい。

一般に、直流の性質については、生徒はよく理解できる。一方、交流の性質については、生徒は理解しにくく、交流は難解な教材の1つになっている。この原因としては次のようなことが考えられる。これまでの教材では、電燈線用の50Hz または60Hz の交流で実験を行うため、電流の変化が速く直接的、直観的な実験が困難であった。シンクロスコープで電流の波形としてサインカーブを見せても、その山と谷の波形を電流の流れの変化として理解するのは、生徒にとって難しいことである。また、使用する周波数が50Hz または60Hz で直流と離れているため、直流の理解を発展させて交流を理解するというのを難しくしている。

直流の性質を理解させた後、直流から連続的に周波数を電燈線周波数まで増大させてゆき、直観的な実験によって、直流の理解から連続して交流の理解に発展させる本装置による方法は、生徒に難解な交流の性質を理解させる有力な方法と考えられる。

開発した装置と既存の実験装置の交流学习に対する効果を調べるため授業で演示実験をし、アンケート調査をした。調査は愛媛大学教育学部理科専攻の2年生28人と同学部小学校教員養成課程の2年生67人を対象にして行った。実験としては、1)電磁石を用いて鉄片を振動させる実験、2)電気ブランコの実験、3)磁場中で弦を振動させる実験、4)化学反応を利用する実験、5)ネオンランプによる実験、6)発光ダイオードによる実験、7)シンクロスコープを用いる実験を使った。1)から7)の順に実験を行い、この7つの実験の中で、交流説明の実験教具として最適だと思う実

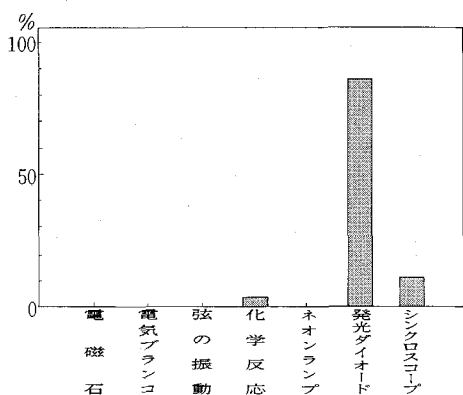


図10 理科専攻生を対象としたアンケート調査の結果

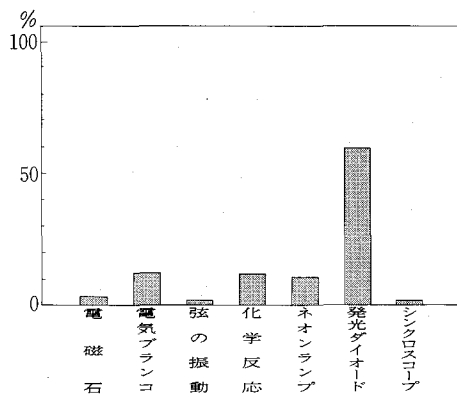


図11 小学校教員養成課程学生を対象としたアンケート調査の結果

験を選択させた。理科専攻生へのアンケート結果を図10に、小学校課程学生の結果を図11に示す。演示した実験のうち、交流の性質を理解するのに最適なものは、この研究で開発した発光ダイオード演示板を使う実験であると回答した者は、理科専攻生では28人中24人、86%、小学校教員養成課程生では67人中40人、60%であり、全体で67%であった。この結果から、この方法は、生徒が交流の性質を理解するのに、役立つ実験であると考えられる。この装置は操作も簡単で、実験に

要する時間も約5分と短く、授業時間内で交流の説明および実験が十分できるものである。さらに、カラフルな発光ダイオードを点滅させたり、マイクロコンピューターを利用するなど生徒の興味と関心を引きおこすものと考えられる。また、マイクロコンピューターシステムとシンクロスコープを切り離し、低周波発振器、直流電流計、発光ダイオード演示板だけでも演示実験できるので、非常に簡便な実験装置である。

#### IV おわりに

中学校、高等学校の生徒にとって理解しにくい交流をわかりやすく説明できる実験装置を製作することができた。この装置は取り扱いが簡単で、高度の技術を必要とせず、実験は約5分でできるので、授業時間内に十分、説明、実験、まとめ、討論などができるものである。発光ダイオードによって、視覚的にも生徒の興味と関心を引きおこし、交流の理解を深めさせるものと考えられる。物理は敬遠され、物理を選択する生徒が年々少なくなっている。有効な実験教具を開発し、生徒の物理への興味と関心を呼び戻し、より多くの生徒に物理を履修させることは非常に重要なことと考える。

#### 参 考 文 献

- 1) 文部省：中学校指導書 理科編（大日本図書，1978）P. 44.
- 2) 近角聰信 他：新編 新しい科学 下（東京書籍，1987）P. 23.
- 3) 文部省：高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編（実教出版，1979）P. 26.
- 4) 小出昭一郎 他：物理 改訂版（三省堂，1987）P. 203.
- 5) 池本義夫：物理実験 下（厚徳社，1962）P. 529.
- 6) 藤岡由夫，朝永振一郎，池本義夫：物理実験事典（講談社，1973）P. 456.
- 7) 前掲書 6，P. 458.
- 8) 藤井 清，中込八郎，糠谷正行，堀田昌邦，広井 禎：物理実験ハンドブック（講談社，1977）P. 243.
- 9) 原島 鮮，吉本 市 他：新物理実験図鑑 II（講談社，1973）P. 225.
- 10) 前掲書 9，P. 225.